

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004年10月7日 (07.10.2004)

PCT

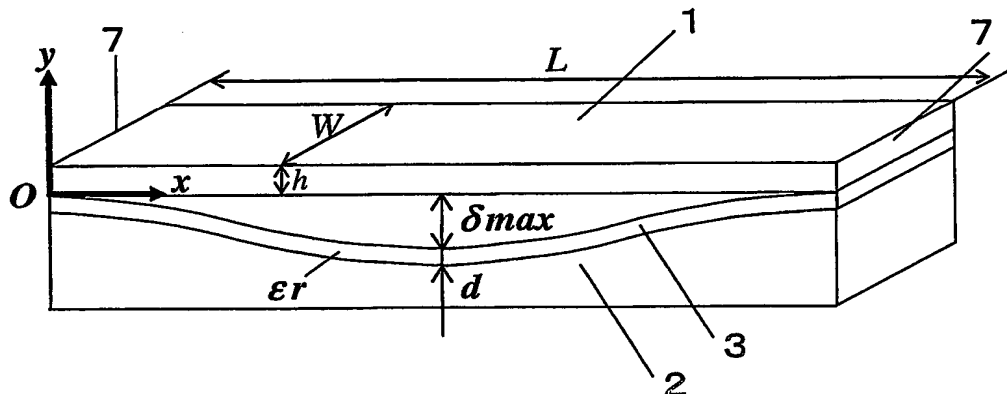
(10) 国際公開番号  
WO 2004/086617 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H03H 9/24, H01H 59/00 (74) 代理人: 岩橋 文雄, 外(IWAHASHI, Fumio et al.); 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内 Osaka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/004091
- (22) 国際出願日: 2004年3月24日 (24.03.2004) (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-082430 2003年3月25日 (25.03.2003) JP  
特願2004-074288 2004年3月16日 (16.03.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中村 邦彦 (NAKAMURA, Kunihiko).

[続葉有]

(54) Title: MECHANICAL RESONATOR

(54) 発明の名称: 機械共振器



(57) Abstract: A mechanical resonator is constructed such that it has a vibration body (1) that performs a mechanical resonant vibration and also has an electrode (2) located in the vicinity of the vibration body (1) and such that it is shaped into the surface shape of the electrode (2) when deformed during a resonance mode of the vibration body (1), whereby the electrostatic capacitance variation per unit vibration displacement amount can be enlarged. In this way, a mechanical resonator can be realized which performs an effective electricity-to-machine or machine-to-electricity conversion. Moreover, this mechanical resonator can be used to realize a small-sized, high-performance filter circuit or switch circuit in a high-density integrated electrical circuit.

(57) 要約: 機械的共振振動を行う振動体 (1) と、振動体 (1) に近接して位置する電極 (2) とを有し、電極 (2) の表面形状が振動体 (1) の共振モードで変形したときの形状となるように機械共振器を構成することにより、単位振動変位あたりの静電容量変化が大きくなるので、効率よく電気→機械変換または機械→電気変換を行う機械共振器を実現できる。また、この機械共振器を用いて、高密度に集積化された電気回路内において、小型で高性能のフィルタ回路やスイッチ回路を実現できる。



添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

1  
明 細 書

## 機械共振器

### 5 技術分野

本発明は機械式の共振器に関し、特に高密度に集積化された電気回路内において、小型で高性能のフィルタ回路やスイッチ回路を実現するものに関する。

### 背景となる技術

- 10 従来の機械共振器について図 2 2 を参照して説明する。図 2 2 は文献 Frank D. Bannon III, John R. Clark, and Clark T.-C. Nguyenc 著 "High-Q HF Microelectromechanical Filters" (IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 35, No. 4, pp. 512-526, April 2000) に紹介されている機械振動フィルタの構成を簡略化して示した図である。
- 15 このフィルタは、シリコン基板上に薄膜形成を行うことで形成されている。入力線路 1 0 4 と、出力線路 1 0 5 と、それぞれの線路に対して 1 ミクロン以下の空隙をもって配置された両持ち梁 1 0 1、1 0 2 と、その 2 つの梁を結合する結合梁 1 0 3 とで構成されている。入力線路 1 0 4 から入力した信号は、梁 1 0 1 と容量的に結合し、梁 1 0 1 に静電力を発生させる。信号の周波数が、梁 1 0 1、
- 20 1 0 2 および結合梁 1 0 3 からなる弾性構造体の共振周波数近傍と一致したときのみ機械振動が励振されるので、この機械振動をさらに出力線路 1 0 5 と梁 1 0 2 との間の静電容量の変化として検出することで、入力信号のフィルタリング出力を取り出すことができる。
- 25 矩形断面の両持ち梁の場合、弾性率  $E$ 、密度  $\rho$ 、厚み  $h$ 、長さ  $L$  とすると、共振周波数  $f$  は、次式となる。

$$f = 1.03 \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

材料をポリシリコンとすると  $E = 160 \text{ GPa}$ 、 $\rho = 2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、  
 また寸法を  $L = 40 \text{ }\mu\text{m}$ 、 $h = 1.5 \text{ }\mu\text{m}$  とすると  $f = 8.2 \text{ MHz}$  となり、約  
 8 MHz 帯のフィルタを構成することが可能である。コンデンサやコイルなどの  
 5 受動回路で構成したフィルタに比べて機械共振を用いることで Q 値の高い急峻な  
 周波数選択特性を得ることができる。

しかしながら、上記従来の構成では、さらに高周波帯のフィルタを構成するに  
 は、以下のような制約がある。すなわち、(式 1) から明らかなことは、第 1 に  
 材料を変更して  $E/\rho$  を大きくすることである。ただし、 $E$  を大きくすると梁を  
 10 たわませる力が同じであっても梁の変位量は小さくなってしまい、梁の変位を検  
 知することが難しくなる。また、梁の曲がりやすさをあらわす指標を、両持ち梁  
 の梁表面に静荷重を加えたときの梁中心部のたわみ量  $d$  と梁の長さ  $L$  の比  $d/L$   
 とすると、 $d/L$  は、次式の比例関係で表される。

$$\frac{d}{L} \propto \frac{L^3}{h^3} \cdot \frac{1}{E} \quad (2)$$

15 これらから、 $d/L$  の値を保ちながら共振周波数を上げるには、少なくとも  $E$   
 は変更できず、密度  $\rho$  の低い材料を求める必要があるが、ポリシリコンと同等の  
 ヤング率で密度が低い材料としては CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics)  
 ) 等の複合材料を用いる必要がある。この場合、半導体プロセスで微小機械振動  
 フィルタを構成することは難しくなる。

20 このような複合材料を用いない第 2 の方法は、(式 1) において梁の寸法を変  
 更して  $h \cdot L^{-2}$  を大きくすることである。しかし、 $h$  を大きくすることと  $L$  を小  
 さくすることはたわみやすさの指標である (式 2) の  $d/L$  を小さくしてしまい、

## 3

梁のたわみを検出することが難しくなる。

(式1) および (式2) について  $\log(L)$  と  $\log(h)$  の関係を図23に示すと、直線191は(式1)から求まる関係であり、直線192は(式2)から求まる関係である。この図23において、現寸法A点を起点に傾き「2」の直線より上の範囲(領域A)のLとhを選ぶとfは大きくなり、傾き「1」の直線より下の範囲(領域B)のLとhを選ぶと $d/L$ は大きくなる。従って、図中のハッチング部分(領域C)が梁のたわみ量も確保しつつ共振周波数を上げることができるLとhの範囲である。

図23より明らかなことは、機械振動フィルタの高周波化には、Lおよびh双方の寸法の微小化が必要条件であり、Lおよびhを同じスケールで小型化すること、すなわち傾き1の直線に乗りながらLとhを小さくすることは、図23のハッチング部分の十分条件である。

このように、従来の機械共振器では機械振動体の寸法を小型化することで、共振周波数は高周波化されるが、それでも梁の振動は小さくなるので振動を検出する信号が微弱になることは避けられず、外乱の影響を受けやすくなるという課題を有していた。

#### 発明の開示

本発明の目的は、フィルタ等の回路部品の高性能化を実現する微小な機械共振器を提供することにある。

この課題を解決するために本発明は、電極表面形状を振動体の共振モードで変形したときの形状にすることにより、共振振動を行う振動体の単位変位量あたりの容量変化を大きくし、電気信号を効率よく機械振動に変換する構造、または機械振動を効率よく電気信号に変換する構造を実現した。

本発明の第1の態様にかかる機械共振器は、機械的共振振動を行う振動体と、この振動体が共振振動時に近接し、かつ共振振動の振幅方向に湾曲して配置され

## 4

た電極とを有している。これによって、共振振動を行う振動体の単位変位量あたりの容量変化を大きくし、電気信号を効率よく機械振動に変換する構造、または機械振動を効率よく電気信号に変換することができる。

また、本発明の第2の態様にかかる機械共振器は、第1の態様の湾曲した電極の表面形状と、振動体が共振モードで変形したときの形状とが同一であることを特徴とするものである。これにより、この振動体に対する静電容量を最大限まで増やすことができるので、共振振動を行う振動体の単位変位量あたりの容量変化を大きくし、電気信号を効率よく機械振動に変換する構造、または機械振動を効率よく電気信号に変換することができる。

10      また、本発明の第3の態様にかかる機械共振器は、本発明の第1あるいは第2の態様の振動体と対向する電極の表面積が、振動体の表面積よりも小さいことを特徴とするものである。これにより、振動体と電極との容量結合における過剰な電荷発生を抑制することができるので、不要な漏洩する交流電流を削減することが可能になる。特に、共振時に振幅が最大になる振動体の部分およびその近傍と  
15      対向する位置には電極を配しないようにすることにより、電圧と力、変位と電流間の関係がより線形に近づき、制御を容易にすることができる。あるいは、振動体の端部に対向する位置には電極を配しないようにすることにより、簡単な構造で過剰な電荷発生を抑制することができる。

また、本発明の第4の態様にかかる機械共振器は、機械的共振振動を行う振動  
20      体と、振動体と近接し、同じ共振周波数の共振モードで振動する電極とを有している。これにより、振動していないときには、静電容量を平行平板構造なみに小さくし、共振周波数で振動しているときは、この振動子に対しては静電容量が最大となるので、 $|\Delta C / \Delta y|$ の値を大きくすることができる。その結果、不要な交流電流が低減され、かつ電気信号を効率よく機械振動に変換したり、機械振動  
25      を効率よく電気信号に変換できる。

また、本発明の第5の態様にかかる機械共振器は、本発明の第1乃至第4の態

## 5

様の振動体と電極とに接続され、それらの間に静電界を発生するバイアス電源をさらに有し、振動体と電極との間に共振周波数の電圧変化を受けたときに、振動体が共振振動するものである。これにより、電気信号を効率よく機械振動に変換できる。

5      また、本発明の第6の態様にかかる機械共振器は、本発明の第1乃至第4の態様の電極と振動体との間の電圧変化から信号を検出する検出部をさらに有し、振動体が振動したときの振動体と電極との間の静電容量変化により、検出部が振動から電気信号に変換された信号を検出することを特徴としている。これにより、機械振動を効率よく電気信号に変換できる。

10      また、本発明の第7の態様にかかる機械共振器は、本発明の第1乃至第4の態様において、電極と振動体の対向面の少なくとも一方に絶縁層を設けたことを特徴とする。これにより、振動体と電極との電氣的短絡を回避することができる。特に、絶縁層は、絶縁性及び潤滑性を有する高分子粒子であることを特徴としている。これにより、絶縁層厚が一定になり、かつフッ素樹脂の潤滑性があるので、  
15      振動体がフッ素樹脂粒子5に接触しても s t i c t i o n と呼ばれる制御不能な吸着力を減少させることができる。

また、本発明の第8の態様にかかる機械共振器は、本発明の第1乃至第4の態様において、電極と対向する振動体の表面に振動体から絶縁して配置された第1接点電極と、この第1接点電極と嵌合するように電極から絶縁して配置された第  
20      2電極とをさらに有している。これにより、静電力による振動体の動的な変位量が静的な変位量に比べQ値倍にもなるので、小さな電圧で接点電極を接触させることができる。

特に、前記振動体と前記電極とに接続され、それらの間に静電界を発生するバイアス電源をさらに有し、振動体と電極との間に電圧変化を受けたとき、振動体  
25      が共振振動し、第1接点電極が第2接点電極に接近した時点でバイアス電源の電圧により静電吸着することを特徴としている。これにより、振動体の共振振動の

## 6

変位量が電極に衝突する程度にまで制御され、再接近した瞬間に前記振動体と前記電極との間の静電力の引き込みにより前記振動体が前記電極に吸い付くことで第1接点電極と第2接点電極とが接触固定されることができるので、これを利用したスイッチング機能を実現できるものである。

- 5      また、本発明の第9の態様にかかる機械共振器は、本発明の第1～第4の態様の機械共振器を、複数個、電氣的に並列または直列に配置したことを特徴とするものであり、電極が、振動体と同じ共振周波数の共振モードで振動することを特徴としてもよい。

- 10      このように、適宜フィルタの個数を調整することにより、特に、高周波回路で問題となるインピーダンス不整合による反射信号を減少させ、効率よく電気信号を機械振動に変換し、かつ機械振動を再び電気信号として取り出すことができる。

- 15      また、本発明の第10の態様にかかる機械共振器は、本発明の第1～第9の態様にかかる機械共振器を、雰囲気気を真空に封止したケース内に収納したことを特徴とするものである。これにより、空気の粘性による振動体への減衰効果を排除
- 15      できるので、Q値をあげることが可能になる。

また、本発明の第11の態様にかかるフィルタは、本発明の第1～第7の態様にかかる機械共振器を用いたことを特徴とするものである。

また、本発明の第12の態様にかかるスイッチは、本発明の第8の態様にかかる機械共振器を用いたことを特徴とするものである。

- 20      また、本発明の第13の態様にかかる電気回路は、本発明の第1～第12の態様にかかる機械共振器を用いたものである。

- 25      以上のように本発明によれば、電気信号を効率よく機械振動に変換する構造、および機械振動を効率よく電気信号に変換する構造を実現できる。また、本発明の機械共振器を用いて、高密度に集積化された電気回路内において、小型で高性能のフィルタ回路やスイッチ回路を実現することも可能である。



## 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の一実施の形態による、電極表面形状を両持ち梁の横振動 1 次共振モード波形とした機械共振器の構造を示す概略図である。

図 2 は、本発明の一実施の形態による、電気→機械変換器の構造を示す概略図である。

図 3 は、従来の、電極を平行平板形状とした機械共振器の構造を示す概略図である。

図 4 は、本発明の一実施の形態による、共振する振動体の振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係 ( $\delta_{\max} = 1 \mu\text{m}$ ) を示す特性図である。

10 図 5 は、本発明の一実施の形態による、共振する振動体の振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係 ( $\delta_{\max} = 0.3 \mu\text{m}$ ) を示す特性図である。

図 6 は、本発明の一実施の形態による、機械→電気変換器の構造を示す概略図である。

15 図 7 は、本発明の一実施の形態による、並列に配置された機械共振フィルタの構成を示す概略図である。

図 8 は、本発明の一実施の形態による、6 点固定型の梁構造の上面図である。

図 9 は、本発明の一実施の形態による、図 8 の梁構造を用いて直列に配置された機械共振フィルタの構成を示す概略図である。

20 図 10 は、本発明の一実施の形態による、簡易な電気→機械→電気変換機能を有する機械共振フィルタの構造を示す概略図である。

図 11 A、B は、本発明の一実施の形態による、電極も共振構造を有する機械共振器の構成を示す概略図である。

図 12 は、本発明の一実施の形態による、電極両端を絶縁性とした機械共振器の構造を示す概略図である。

25 図 13 は、本発明の一実施の形態による、図 12 の構造における振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係を示す特性図である。

## 8

図 1 4 は、本発明の一実施の形態による、電極中央部を絶縁性とした機械共振器の構造を示す概略図である。

図 1 5 は、本発明の一実施の形態による、図 1 4 の構造における振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係を示す特性図である。

- 5 図 1 6 は、本発明の一実施の形態による、スイッチ構造を有する機械共振器の構造を示す概略図である。

図 1 7 は、本発明の一実施の形態による、四フッ化エチレン樹脂粒子を用いた絶縁層を示す概略図である。

- 10 図 1 8 A ~ D は、本発明の一実施の形態における機械共振器の製作工程を示す概略図である。

図 1 9 は、本発明の一実施の形態による、電極表面形状を片持ち梁の横振動 1 次共振モード波形とした機械共振器の構造を示す概略図である。

図 2 0 A は、片持ち梁の横振動 2 次共振モード波形を示す図である。

- 15 図 2 0 B は、本発明の一実施の形態による、電極表面形状を片持ち梁の横振動 2 次共振モード波形とした機械共振器の構造を示す概略図である。

図 2 0 C は、本発明の一実施の形態による、電極表面形状を片持ち梁の横振動 2 次共振モード波形とした機械共振器の別の構造を示す概略図である。

図 2 0 D は、本発明の一実施の形態による、図 2 0 B、C を複合させた機械共振器の構造を示す概略図である。

- 20 図 2 1 A ~ D は、本発明の一実施の形態における電極も共振構造を有する機械共振器の製作工程を示す概略図である。

図 2 2 は、従来の機械共振器を用いたフィルタを示す概略図である。

図 2 3 は、従来例における、機械共振器の寸法と高周波化の関係を示す特性図である。

以下、本発明の実施の形態について、図 1 から図 2 1 を用いて説明する。

(実施の形態 1)

図 1 は、本発明の実施の形態 1 にかかる機械共振器の概要図である。

図 1 において、振動体 1 はその両端を固定された固定端 7 とした両持ち梁であり、厚み  $h$ 、幅  $W$ 、長さ  $L$  である。電極 2 は振動体 1 に近接して設けられている。5 両者の接触による電氣的短絡を避けるために電極 2 表面には厚さ  $d$ 、比誘電率  $\epsilon_r$  の絶縁層 3 が設けられている。このとき、両持ち梁である振動体 1 の横振動一次共振モードを利用するとすると、振動体 1 の共振モードでの形状は図中の  $x$   $y$  座標を用いて、次式で表される。

$$y(x) = y_{\max} \left[ \frac{1}{1.6164} \{ \zeta (\cos kx - \cosh kx) + \sin kx - \sinh kx \} \right] \quad (3)$$

$$\zeta = -1.01781, \quad k = 4.730/L$$

10

なお、その最大値  $y_{\max}$  ( $x = L/2$  のとき) は振動体にかかる励振力の大きさや、振動体内部の熱損失、周辺の空気の粘性などにより決定される。

また、電極 2 および絶縁層 3 の表面も (式 3) の形状を有するなだらかな凹形状をしており、その深さ  $\delta_{\max}$  は振動体 1 の振動振幅  $y_{\max}$  よりも大きめにとっている。具体的には電極 2 の表面形状は、次式のように設定してある。15

$$y(x) = -\delta_{\max} \left[ \frac{1}{1.64164} \{ \zeta (\cos kx - \cosh kx) + \sin kx - \sinh kx \} \right] - d \quad (4)$$

なお、過度の励振力等による振動体と電極との接触を想定しなければ絶縁層 3 を設ける必要はない。

図 2 は図 1 の機械共振器を電気→機械変換に用いた場合であり、振動体 1 と電極 2 との間にバイアス電圧  $V_b$  および交流信号  $v_i$  ( $v_i \ll V_b$ ) が印加されている。この振動体 1 の弾性振動を等価質量  $m$  なるバネ質点系におきかえて考えると、この質点には、次式で表される静電力がかかる。20

$$F = -\frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial y} (V_b + v_i)^2 \cong -\frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial y} (V_b^2 + 2V_b v_i) \quad (5)$$

但し、Fは静電力であり、Cは振動体と電極間の静電容量である。また、右辺第一項はバイアス電圧 $V_b$ によるバイアス力をあらわす。

(式5)より交流信号電圧の励振力への変換は、振動体の単位変位量あたりの容量変化である $|\Delta C / \Delta y|$ が大きいほど効率がよい。ここで、(式4)であらわされる電極形状を用いた図2の構造では、図3のような従来の平行平板型の電極構造に比べてより大きな $|\Delta C / \Delta y|$ が得られることを次に示す。

図2において $d = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r = 1$ 、 $\delta_{\text{max}} = 1 \mu\text{m}$ 、 $L = 40 \mu\text{m}$ 、 $W = 20 \mu\text{m}$ としたときの振動体中央部の変位量 $y$ と静電容量 $C$ との関係を図4に示す。なお、同じ $d$ 、 $\epsilon_r$ 、 $\delta_{\text{max}}$ 、 $L$ 、 $W$ の値での図3の構造における $y$ と $C$ の関係も図4に併せて示した。すなわち、図4において、特性曲線401が図2の構造をした機械共振器での変化を示し、特性曲線402が図3の構造をした機械共振器での変化を示している。

$y = 0$ 近傍では、図3の構造では $|\Delta C / \Delta y| = 3.1 \times 10^{-9} [\text{F}/\text{m}]$ であるが、図2の構造では $|\Delta C / \Delta y| = 9.8 \times 10^{-9} [\text{F}/\text{m}]$ まで改善されている。すなわち、同じ交流信号 $v_i$ でも図2の構造をとることで、より大きな共振振動を得ることができる。なお、例えば振動体の共振振幅が $\pm 0.1 \mu\text{m}$ の範囲内で振動し、それ以上の振幅は電気回路的にまたは機械的に抑制されることが保証されていれば、 $\delta_{\text{max}}$ の値はより小さく設定することができる。たとえば、 $\delta_{\text{max}} = 0.3 \mu\text{m}$ とすると、 $y$ と $C$ の特性は図5に示す特性曲線501、および特性曲線502のようになり、図2の構造で $|\Delta C / \Delta y| = 4.7 \times 10^{-8} [\text{F}/\text{m}]$ までさらに改善された。

なお、図4において $y$ と $C$ との関係が線形とみなせる領域では $\Delta C / \Delta y$ は一定値となり、(式5)から、交流電圧と励振力との関係は線形として取り扱うこと

ができる。

次に、図 1 に示した本実施の形態にかかる機械共振器の製作工程を図 1 8 A ～ D に示す。

振動体および電極は基板 1 0 上に形成される。例えば基板 1 0 は表面に熱酸化  
5 によるシリコン酸化膜および減圧 C V D 法によるシリコン窒化膜が堆積された高抵抗シリコン基板である。

はじめに、基板 1 0 にフォトリソグرافィからなる犠牲層をスパインコート、露光、  
現像したのち、ホットプレートでベークを行い、犠牲層 1 1 を形成する（図 1 8  
A）。

10 次に、基板全面にアルミニウム 1 2 をスパッタにより堆積する（図 1 8 B）。

次に、アルミニウム上にフォトリソグرافィを形成し、フォトリソグرافィにより  
パターニングを行い、前記フォトリソグرافィからなるパターンをマスクとしてアル  
ミニウムのドライエッチングを行うことで、振動体 1 3 および電極 1 4 を形成す  
る（図 1 8 C）。このとき、電極 1 4 が振動体 1 3 に対向する面の形状は（式 4）  
15 で表現される曲線とする。これはフォトリソグرافィに用いるマスク上のパター  
ンを（式 4）で表現される曲線とすることで実現される。

さらに、酸素プラズマによりフォトリソグرافィからなるパターンならびに犠牲層  
1 1 を除去する。これにより振動体 1 3 は振動が可能な両持ち梁となり、また電  
極 1 4 との間でコンデンサを形成する（図 1 8 D）。振動体 1 3 の振動は振動体 1  
20 3 と電極 1 4 の間の静電力により発生させることができる。この場合、振動体 1  
3 の振動方向は基板に対して水平方向となる。

なお、本実施の形態では高抵抗シリコン基板を用いたが、通常のシリコン基板、  
化合物半導体基板、絶縁材料基板を用いても良い。

また、高抵抗シリコン基板 1 0 上に絶縁膜としてシリコン酸化膜およびシリコ  
ン窒化膜を形成したが、基板の抵抗が十分高い場合これら絶縁性膜の形成を省略  
25 しても良い。

また、本実施の形態では振動体および電極を形成する材料としてアルミニウムを用いたが、他の金属材料M o、T i、A u、C u、ならびに高濃度に不純物導入された半導体材料例えばアモルファスシリコン、導電性を有する高分子材料などを用いても良い。さらに、成膜方法としてスパッタを用いたがC V D法、メッキ法などを用いて形成しても良い。

なお、本実施の形態における振動体は両持ち梁としたが、片持ち梁についても電極の表面形状を片持ち梁のモード形状と同じにすることにより、同様に $|\Delta C / \Delta y|$ を大きくする効果を得ることができる。

次に、振動体を片持ち梁とした場合の機械共振器について説明する。

図19は振動体を片持ち梁とした場合の機械共振器の概要図である。振動体21は片方の単面を固定された片持ち梁であり、厚みh、幅W、長さLである。電極22は振動体21に近接して設けられており、表面に厚さdの絶縁層23が設けられている。片持ち梁を1次の共振モードで励振する場合、電極22の表面形状は次式のように設定する。

$$y(x) = -\delta_{\max} \left[ \frac{1}{2} \{ \cosh kx - \cos kx - 0.734096(\sinh kx - \sin kx) \} \right] - d$$

$$k = \frac{1.875104}{L}$$

なお、本発明の実施の形態における両持ち梁または片持ち梁の振動モードは横振動の1次モードとしたが、2次以上の高次のモードに対しても電極の表面形状を振動体の共振モード波形とすることで $|\Delta C / \Delta y|$ を大きくする効果を得ることができる。

図20Aのx y平面上に描かれた実線の曲線は、片持ち梁の横振動2次モード波形をあらわしている。すなわち、長さLの片持ち梁は固定端から0.774Lの箇所に1つの節を持つ。このとき、長さLの全長にわたって電極の表面形状を共振モードでの波形とすると、節から自由端部の梁の共振が電極により阻害されてしまうので、図20Bに示すように電極を固定端から節までの長さにとどめて

いる。

また、この他に図 20 C のように電極を節から自由端までの長さの位置に配しても同様の効果が得られる。あるいは、図 20 D のように、図 20 B や、図 20 C の電極 22 をそれぞれ振動体をはさんで配置し、例えば、電極 22 a は振動体  
5 21 の励振用に、電極 22 b は振動体 21 の振動の検出用に用いることもできる。

以上のように本実施の形態によれば、電極表面形状を振動体の共振モードでの形状とすることで、共振振動を行う振動体の単位変位量あたりの容量変化が最大になるので、電気信号を効率よく機械振動に変換したり、機械振動を効率よく電気信号に変換したりすることができる。なお、電極表面形状は振動体の共振モー  
10 ドの形状と完全に一致することは必須ではなく、その形状に近いほど効果が高く得られる。

また、上記したように片持ち梁に励振用と検出用の電極を取り付けることにより、変換効率の優れた、小型化した機械振動フィルタを実現できる。

(実施の形態 2)

15 図 6 は図 1 の構造の機械共振器を機械→電気変換器に利用した例である。

図 6 において、y 軸方向に横振動を行う振動体 1 の変位は電極 2 との間の容量 C の変化として検出される。流れる電流 i は、次式のようになり、振動速度と  $\Delta C / \Delta y$  の積であらわされる。

$$i = \frac{dq}{dt} \cong \frac{dC}{dy} \frac{dy}{dt} V \quad (6)$$

20  $\Delta C / \Delta y$  がほぼ一定値とみなせる変位領域を用いると、梁の変位信号は電流信号を積分器 601 に通すことで再生され、このとき  $|\Delta C / \Delta y|$  が大きいほど大きな電流信号が得られる。図 2 と同様に  $d = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r = 1$ 、 $\delta_{\text{max}} = 1 \mu\text{m}$ 、 $L = 40 \mu\text{m}$ 、 $W = 20 \mu\text{m}$  とすると、図 4 ですでに示したとおり本発明の構造を採用した方が図 3 に示した従来の平行平板構造よりも大きな  $|\Delta C /$

$\Delta y$  | が得られる。これより、本実施の形態の機械→電気変換器は微弱な振動を効率よく電気信号に変換することができる。

(実施の形態 3)

図 7 は本実施の形態に係る機械共振器を用いた機械振動フィルタの構造図である。

図 7 において、機械振動フィルタは図 2 2 に示したフィルタ構造の電気→機械変換部である入力線路 1 0 4 と両持ち梁 1 0 1 との容量結合部分、および機械→電気変換部である出力線路 1 0 5 と両持ち梁 1 0 2 との容量結合部分の双方に、本発明の実施の形態 1 および 2 として図 1 に示した共振モードでの形状を有する電極を適用している。さらに、この機械振動フィルタは一組の電気→機械変換部および機械→電気変換部からなるフィルタを、複数個並列に配置し、入力電圧を分岐して各フィルタに入力し、かつ、各フィルタの出力電流信号をまとめて取り出した構造をしている。このように適宜フィルタの個数を調整することにより、特に高周波回路で問題となるインピーダンス不整合による反射信号を減少させ、効率よく電気信号を機械振動に変換し、かつ機械振動を再び電気信号として取り出すことができる。

次に複数のフィルタを直列に配した例を示す。

図 8 は梁構造の上面図であり、梁側面 a 1、a 2、b 1、b 2、c 1、c 2 部の 6 箇所が固定面として固定された構造である。この構成により長さ L、幅 W の 2 つの両持ち梁を直列に構成したこととほぼ等価となる。これはどちらか一方の両持ち梁の振動が固定面 b 1、b 2 の間を介して他方の両持ち梁に伝わるからであり、この固定面 b 1、b 2 の間が結合梁の役割を果たしている。

図 9 は上記の梁構造の機械共振器を用いた機械振動フィルタの構造図である。

図 9 において、図 8 に示した梁構造の一方の両持ち梁 1 0 1 と、図 1 に示した本発明の電極構造を有する入力線路 1 0 4 とは容量結合し、もう一方の両持ち梁 1 0 2 と図 1 の電極構造を有する出力線路 1 0 5 とは容量結合している。また、



さらにこの梁構造をした機械振動フィルタはフィルタを複数個直列に配した構造となる。このように、図 8 の梁構造をとることで容易に直列接続によるインピーダンス整合をとることができる。またさらに、図 22 の結合梁 103 のような極細の衝撃に弱い構造体を設ける必要がないので、強度も高まり、製作にかかる歩留まりも改善される。

（実施の形態 4）

図 10 は、電気→機械変換器と機械→電気変換器とを個別に有する図 22 のフィルタ構造とは異なり、1つの振動体で両方の機能を実現させる機械共振器構造を有する機械振動フィルタである。具体的には、本実施の形態は実施の形態 1 の図 2 に示した電気→機械変換器と、実施の形態 2 の図 6 に示した機械→電気変換器との双方に共通する構造を共有している。この構造は構成が簡易であることを特長とするが、入力信号  $v_i$  により励振された振動体 1 の変位に伴う容量変化に起因して発生する交流電流以外にも、定常的なコンデンサ容量を介して漏洩する不要交流電流が発生する。すなわち、図 4 において交流動作点を例えば  $y = 0$  とした場合、 $y = 0$  における容量が大きいと、励振に起因しない不要交流電流も流れてしまい、フィルタの機能は低下する。従って、 $|\Delta C / \Delta y|$  は大きいことが望ましいことは実施の形態 1、2 で述べてきた通りであるが、可能な限り  $C$  の値は低減する必要がある。

そこで本実施の形態では図 11 A に示すように、機械共振器は振動体 1 に対向する電極 2 も振動体 1 と同じ共振周波数の共振モードで振動する構造体とし、モード定在波波長の  $1/2$  だけ相対位置をずらして配している。ここでは一次共振モードを使うので梁の長さ  $L$  の  $1/2$  だけ電極 2 を  $x$  方向にずらしている。

この機械共振器は実施の形態 3 に示した並列構造をした機械振動フィルタであり、図 11 A には  $x$  方向への繰り返し構造の一部分のみが図示されている。また、振動体 1 と電極 2 の振動の状態を図 11 B に示す。ここで、図 4 の 403 に振動変位  $y$  と長さ  $L$  あたりのコンデンサ容量  $C$  との関係を示す。図 11 A の状態、す

なわち振動変位  $y = 0$  のときには、容量  $C$  は図 3 の平行平板構造と同じ程度に小さな値をとることができる。また、共振状態を示す図 1 1 B では容量はきわめて近接する導電体間の容量、すなわち本発明の実施の形態 1 および実施の形態 2 で述べた図 2、および図 6 の構造における容量まで近づく。その結果、 $y = 0$  において  $|\Delta C / \Delta y| = 6.3 \times 10^{-9} [\text{F/m}]$  となり、図 3 に示した従来の平行平板構造の値よりも大きく、図 2 や、図 6 の構造の値に近づく。従って、図 1 1 の構造を図 1 0 の機械振動フィルタに適用することで不要な交流電流が低減され、かつ  $|\Delta C / \Delta y|$  の値の大きい高効率のフィルタを構成することができる。

図 5 の 5 0 3 は  $\delta_{\text{max}} = 0.3 \mu\text{m}$  とした場合の  $y - C$  特性である。図 5 において、 $y = 0$  のときの図 1 1 の構造を有する機械共振器の静電容量  $C$  は図 3 に示した従来の平行平板構造なみに小さく、一方で、 $|\Delta C / \Delta y|$  は図 2、図 6 の構造と同等にまで大きくすることができると示されている。

これらにより、本実施の形態に係る機械共振器は、簡単な構成で、振動体の変位が小さいときの静電容量を小さくし、振動体が共振モードで変位が大きいときの静電容量を大きくすることができる。そのため、不要な交流電流が低減され、かつ電気信号を効率よく機械振動に変換したり、機械振動を効率よく電気信号に変換したりすることができる。また、この機械共振器を用いた機械振動フィルタは、両持ち梁に励振用と検出用の電極を取り付けることにより、変換効率の優れた、小型化した機械振動フィルタを実現できる。

図 2 1 A ~ D は、図 1 1 に示した、本実施の形態に係る機械共振器の製作工程を示す図である。

図 2 1 A ~ D において、振動体は基板 1 0 上に形成される。例えば基板 1 0 は表面に熱酸化によるシリコン酸化膜、および減圧 CVD 法によるシリコン窒化膜が堆積された高抵抗シリコン基板である。

初めに、基板 1 0 にフォトリソグرافからなる層をスピコート、露光、現像したのち、ホットプレートでベークを行い、犠牲層 1 1 を形成する（図 2 1 A）。こ

## 17

のとき、犠牲層 11 には一定ピッチでならんだ微細穴 15 a、および 15 b を形成する。微細穴 15 a、15 b は図示したように互いに 1/2 ピッチずれた位置に形成する。

次に、基板全面にアルミニウム 12 をスパッタにより堆積する（図 21 B）。このとき、微細穴 15 にもアルミニウム 12 が埋め込まれる。

次に、アルミニウム上にフォトレジストを形成し、フォトリソグラフィによりパターニングを行う。そして、前記フォトレジストからなるパターンをマスクとして、アルミニウムのドライエッチングを行うことより、振動体 13 a および振動体 13 b を形成する（図 21 C）。このとき、振動体 13 a は微細穴 15 a 上に、  
10 振動体 13 b は微細穴 15 b 上に形成する。

さらに、酸素プラズマにより、フォトレジストからなるパターンならびに犠牲層 11 を除去する。これにより、振動体 13 は振動が可能な梁となる。また、振動体 13 は微細穴 15 に埋め込まれたアルミニウムによるアンカー 16 により基板 10 上に固定されるので、アンカー 16 を固定端とした両持ち梁が連続して構成されることになる。これにより、図 11 の機械共振器構造を実現することができる。ただし、この場合、振動体 13 の振動方向は基板に対して水平方向となる。

なお、本実施の形態では高抵抗シリコン基板を用いたが、通常のシリコン基板や、化合物半導体基板や、絶縁材料基板を用いても良い。

また、高抵抗シリコン基板 10 上に絶縁膜としてシリコン酸化膜およびシリコン窒化膜を形成したが、基板の抵抗が十分高い場合、これら絶縁性膜の形成を省略しても良い。

なお、本実施の形態では、梁を形成する材料としてアルミニウムを用いたが、他の金属材料 Mo、Ti、Au、Cu、ならびに高濃度に不純物導入された半導体材料、例えばアモルファスシリコン、導電性を有する高分子材料などを用いても良い。さらに成膜方法としてスパッタを用いたが、CVD 法、メッキ法などを用いて形成しても良い。

## (実施の形態 5)

本実施の形態は、実施の形態 4 と同じ目的で、不要に発生する交流電流を抑制するために機械共振器のコンデンサ容量の低減を図る方法に関する。図 1 2 は本実施の形態に係る機械共振器の構造図である。

- 5 図 1 2 において、電極 2 の両端から  $\Delta L$  の長さ分 1 2 1 の導電体を絶縁体に置き換えた点が図 1 の構造と異なる。

図 1 3 は、 $\Delta L/L$  をパラメータとした場合の振動変位  $y$  と静電容量  $C$  との関係をあらわした特性図である。ただし、 $d = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r = 1$ 、 $\delta_{\text{max}} = 1 \mu\text{m}$ 、 $L = 40 \mu\text{m}$ 、 $W = 20 \mu\text{m}$  とした。

- 10 電極の両端の絶縁部を多くするほど、すなわち、 $\Delta L/L$  を大きくするほど、静電容量  $C$  を低減することができる。ただし、このとき  $|\Delta C/\Delta y|$  も低下し、同図に参照として示した図 3 に示した従来の平行平板構造の  $|\Delta C/\Delta y|$  の値まで次第に近づいてくる。静電容量  $C$  の低減と  $|\Delta C/\Delta y|$  の増加はトレードオフの関係にあり、その中で使用条件に合わせて最適な  $y-C$  特性を選択すること  
15 ができる。

- 以上のような、電極の両端を絶縁体に置き換えることで得られた効果を換言すると、従来の平行平板型の構造にした場合よりも、 $|\Delta C/\Delta y|$  を大きくするためには、必ずしも全長  $L$  にわたって表面形状が共振モードでの波形状である電極を配する必要はなく、全長のうちの一部が共振モードでの波形状であっても同  
20 様の効果が得られると言える。

- また、これらにより、本実施の形態に係る機械共振器は、簡単な構造で、振動体の変位が小さいときの静電容量を小さくし、振動体が共振モードで変位が大きいときの静電容量を大きくすることができるので、不要な交流電流が低減され、かつ電気信号を効率よく機械振動に変換したり、機械振動を効率よく電気信号に  
25 変換したりすることができる。

## (実施の形態 6)

本実施の形態は、振動体の振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係の非線形性を改善する方法に関する。すなわち、図 4 に示した  $y$  と  $C$  の関係を見ると、図 3 に示した従来の平行平板構造に比べて、図 2 や図 6 の共振モードでの波形状を有する電極を用いることで、機械・電気変換効率の指標である  $|\Delta C / \Delta y|$  は改善されたが、振動体のマイナス側変位、すなわち振動体が電極側に近接したときの非線形性が顕著になる。従って (式 5)、(式 6) の中で  $\Delta C / \Delta y$  を定数と考えることが難しくなり、電圧と力、変位と電流間の関係は非線形の複雑な挙動をとる。

図 1 4 は本実施の形態に係る機械共振器の構造図である。図 1 4 において、電極 2 の中心部から  $x$  方向の両側に  $\Delta L$  の長さ分の導電体を絶縁体に置き換えた点が図 1 の構造と異なる。

図 1 5 は、 $\Delta L / L$  をパラメータとした場合の振動変位  $y$  と静電容量  $C$  との関係をあらわした特性図である。ただし、 $d = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r = 1$ 、 $\delta_{\text{max}} = 1 \mu\text{m}$ 、 $L = 40 \mu\text{m}$ 、 $W = 20 \mu\text{m}$  とした。

電極の中心から  $\Delta L$  の絶縁体の部分 1 4 1 を多くするほど、すなわち、 $\Delta L / L$  を大きくするほど、振動体 1 が電極 2 に近づいたときの非線形性を抑制することができる。ただし、このとき  $|\Delta C / \Delta y|$  は低下するため、両者のトレードオフで、使用条件に合わせた最適な  $y - C$  特性を得ることができる。

以上のような、電極中心部を絶縁体に置き換えることで得られた効果を換言すると、従来の平行平板型の構造にした場合よりも、 $|\Delta C / \Delta y|$  を大きくするためには、必ずしも全長  $L$  にわたって表面形状が共振モードでの波形状である電極を配する必要はなく、全長のうちの一部が共振モードでの波形状であっても同様の効果が得られると言える。

また、これらにより、本実施の形態に係る機械共振器は、簡単な構造で、振動体の変位が小さいときの静電容量を小さくし、振動体が共振モードで変位が大きいときの静電容量を大きくすることができるので、不要な交流電流が低減され、かつ電気信号を効率よく機械振動に変換したり、機械振動を効率よく電気信号に

変換したりすることができる。さらに、本実施の形態に係る機械共振器は電圧と力、変位と電流間の関係がより線形に近づき、制御しやすくすることができる。

(実施の形態 7)

本実施の形態は、電極表面形状を共振モードでの波形とすることにより、入力  
5 電圧が低電圧でも振動体の大きな振幅が得られることを利用したスイッチ構造に関する。

図 1 6 は本実施の形態に係るスイッチの構造図である。

図 1 6 において、電極 2 の中心部付近の絶縁層 3 a 中に第 1 接点電極として接  
点 4 a を形成し、その表面を絶縁層 3 a 上に露出させている。また、振動体 1 の  
10 下面中央部にも絶縁層 3 b を介し第 2 接点電極として接点 4 b を形成し、振動体  
1 と電極 2 の間に直流バイアス電圧  $V_b$  と交流電圧  $v_i$  を印加している。これら  
接点 4 a、4 b を有している点が、実施の形態 6 に係る機械共振器の構造と異なる。

通常のスィッチは、交流電圧  $v_i$  を用いずに直流電圧  $V_b$  のみを印加して振動  
15 体 1 に静電力を加える。 $V_b$  がプルイン電圧を越えるともはや振動体 1 のバネ復  
元力よりも静電力が勝って急激に振動体 1 は電極方向に吸い寄せられ、接点 4 a、  
4 b が閉じる。しかしプルイン電圧は通常でも数十～数百ボルトの高電圧となる  
ため、高圧発生回路が必要となる。

これに対し、本実施の形態に係るスイッチでは、振動体 1 の共振周波数と同じ  
20 周波数の交流電圧  $v_i$  で振動体 1 を励振する。このときの振動体の振動変位量は、  
同等の静的な静電力を加えた場合の  $Q$  値倍にも及ぶため、振動体 1 は容易に絶縁  
層 3 a 近傍まで到達し、その後はバイアス電圧  $V_b$  により振動体 1 は電極 2 へ静  
電吸着される。なお、本実施の形態では、 $Q$  値をあげる目的で、ケース内に収納  
して雰囲気真空に封止し、空気の粘性による振動体への減衰効果を極力排除し  
25 た。

以上のように、本発明に係る構造にすることにより、電気信号から機械信号へ

## 21

の変換効率が向上し、大きな共振振動が得られるので、共振状態の振動体を電極へ接触させ、静電力で保持するスイッチ機構を実現できる。

(実施の形態 8)

図 1 7 は、本発明に係るスイッチの電極 2 上の絶縁層 3 の詳細図であり、粒径  
5 1  $\mu\text{m}$  のフッ素樹脂粒子 5 を無電解メッキ膜 6 とともに単層で電極上に形成させた状態を示している。このように粒径の揃った樹脂粒子を単層で形成することにより、絶縁層厚を一定に保ち、かつフッ素樹脂の潤滑性により振動体がフッ素樹脂粒子 5 に接触しても *stiction* と呼ばれる制御不能な吸着力を減少させることができる。

10

#### 産業上の利用可能性

以上のように本発明は、機械共振器を用いた機械振動フィルタやスイッチに有用であり、装置の小型化や高性能化に適している。

## 請求の範囲

1. 機械的共振振動を行う振動体と、  
前記振動体が共振振動時に近接し、かつ前記共振振動の振幅方向に湾曲して配置された電極と、
- 5 有する機械共振器。
  2. 前記湾曲した電極の表面形状と、前記振動体が共振モードで変形したときの形状とが同一であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の機械共振器。
  3. 前記振動体と対向する前記電極の表面積は前記振動体の表面積よりも小さいことを特徴とする請求の範囲第1項あるいは第2項に記載の機械共振器。
- 10 4. 共振時に振幅が最大になる前記振動体の部分およびその近傍と対向する位置には前記電極を配しないことを特徴とする請求の範囲第3項に記載の機械共振器。
  5. 前記振動体の端部に対向する位置には前記電極を配しないことを特徴とする請求の範囲第3項に記載の機械共振器。
  6. 機械的共振振動を行う振動体と、
- 15 前記振動体と近接し、同じ共振周波数の共振モードで振動する電極と、  
有する機械共振器。
  7. 前記振動体と前記電極とに接続され、それらの間に静電界を発生する  
バイアス電源をさらに有し、  
前記振動体と前記電極との間に共振周波数の電圧変化を受けたときに、前記振動
- 20 体が共振振動する請求の範囲第1項乃至第6項のいずれかに記載の機械共振器。
  8. 前記電極と前記振動体との間の電圧変化から信号を検出する検出部をさらに  
有し、  
前記振動体が振動したときの前記振動体と前記電極との間の静電容量変化により、  
前記検出部が振動から電気信号に変換された信号を検出することを特徴とする請
- 25 求の範囲第1項乃至第6項のいずれかに記載の機械共振器。
  9. 前記電極と前記振動体の対向面の少なくとも一方に絶縁層を設けたことを特



徴とする請求の範囲第 1 項乃至第 8 項のいずれかに記載の機械共振器。

10. 前記絶縁層は、絶縁性及び潤滑性を有する高分子粒子であることを特徴とする請求の範囲第 9 項に記載の機械共振器。

11. 前記電極と対向する前記振動体の表面に前記振動体から絶縁して配置された第 1 接点電極と、

前記第 1 接点電極と嵌合するように前記電極から絶縁して配置された第 2 電極と、をさらに有することを特徴とする請求の範囲第 1 項乃至第 5 項のいずれかに記載の機械共振器。

12. 前記振動体と前記電極とに接続され、それらの間に静電界を発生するバイアス電源をさらに有し、

前記振動体と前記電極との間に電圧変化を受けたとき、前記振動体が共振振動し、前記第 1 接点電極が前記第 2 接点電極に接近した時点で前記バイアス電源の電圧により静電吸着することを特徴とする請求の範囲第 11 項に記載の機械共振器。

13. 請求の範囲第 7 項あるいは第 8 項に記載の機械共振器を、複数個、電氣的に並列に配置したことを特徴とする機械共振器。

14. 請求の範囲第 7 項あるいは第 8 項に記載の機械共振器を、複数個、電氣的に直列に配置したことを特徴とする機械共振器。

15. 請求の範囲第 1 項乃至第 14 項のいずれかに記載の機械共振器を、雰囲気真空に封止したケース内に収納したことを特徴とする機械共振器。

16. 請求の範囲第 1 項乃至第 10 項のいずれかに記載の機械共振器を用いたことを特徴とするフィルタ。

17. 請求の範囲第 11 項あるいは第 12 項に記載の機械共振器を用いたことを特徴とするスイッチ。

18. 請求の範囲第 1 項乃至第 15 項のいずれかに記載の機械共振器を用いた電気回路。

FIG.1

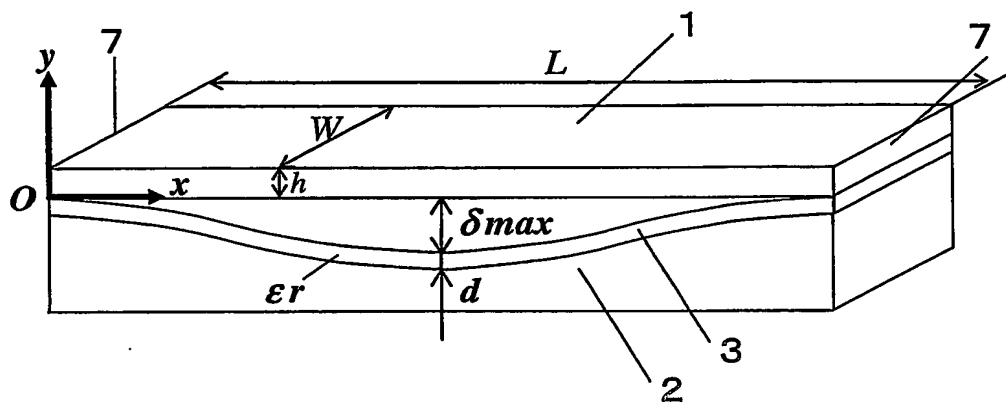


FIG.2

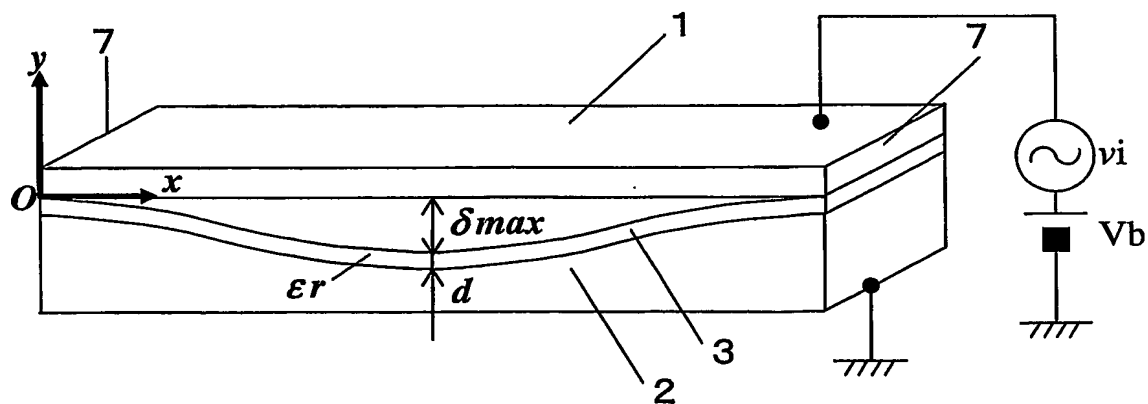
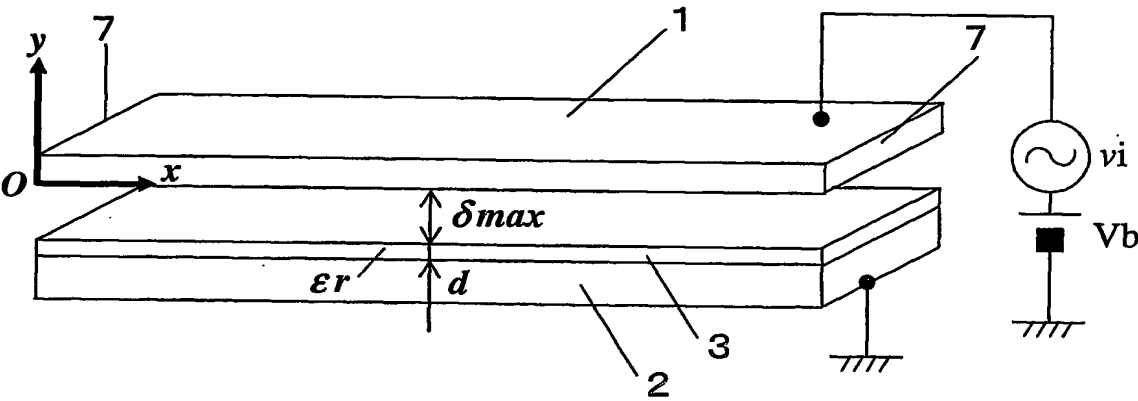


FIG.3



3/16

FIG.4

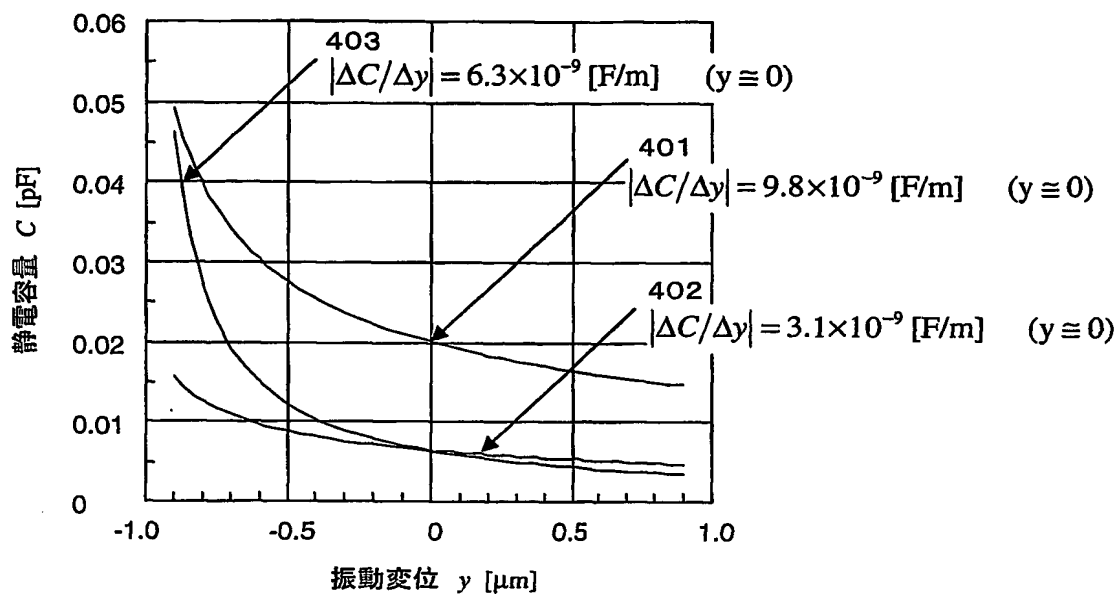


FIG.5

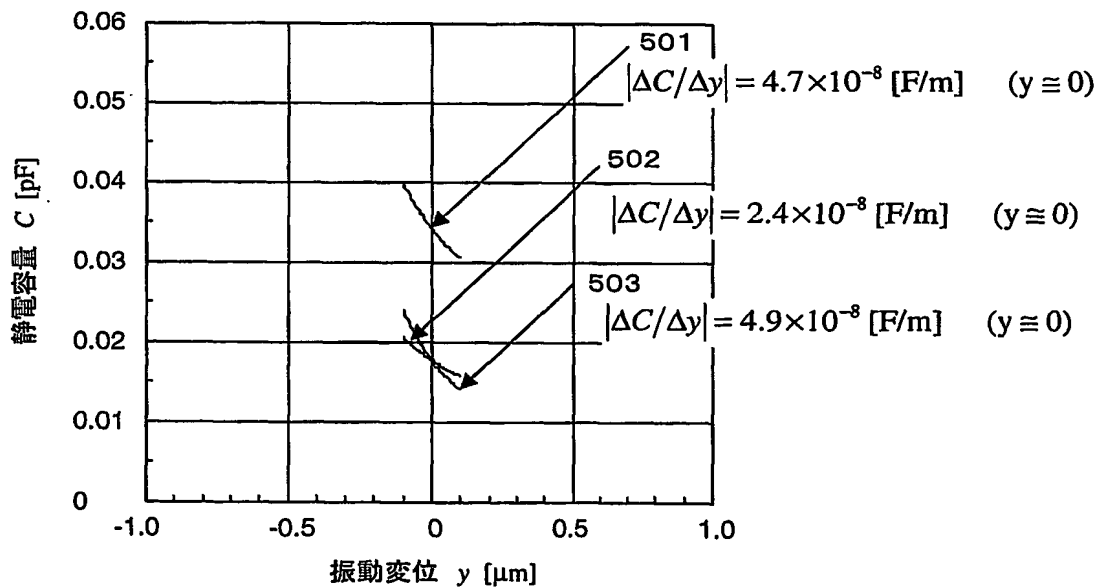


FIG6

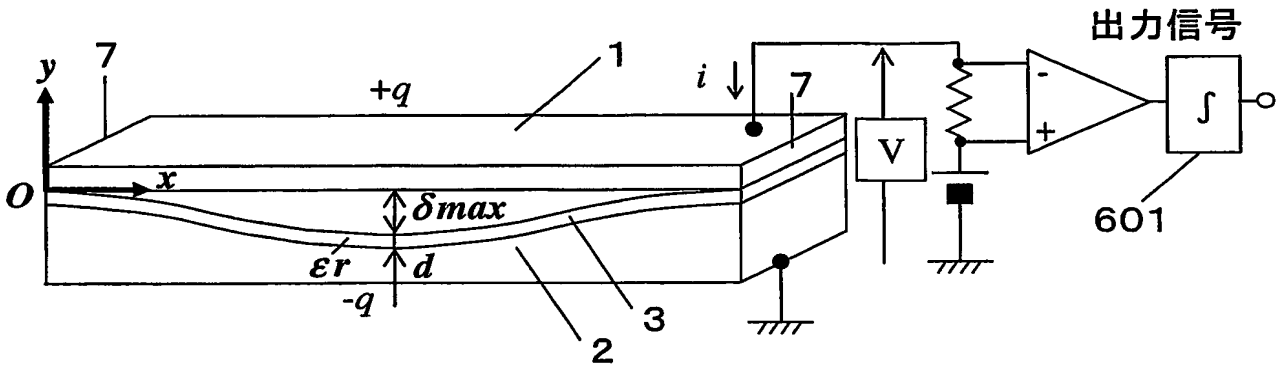


FIG.7

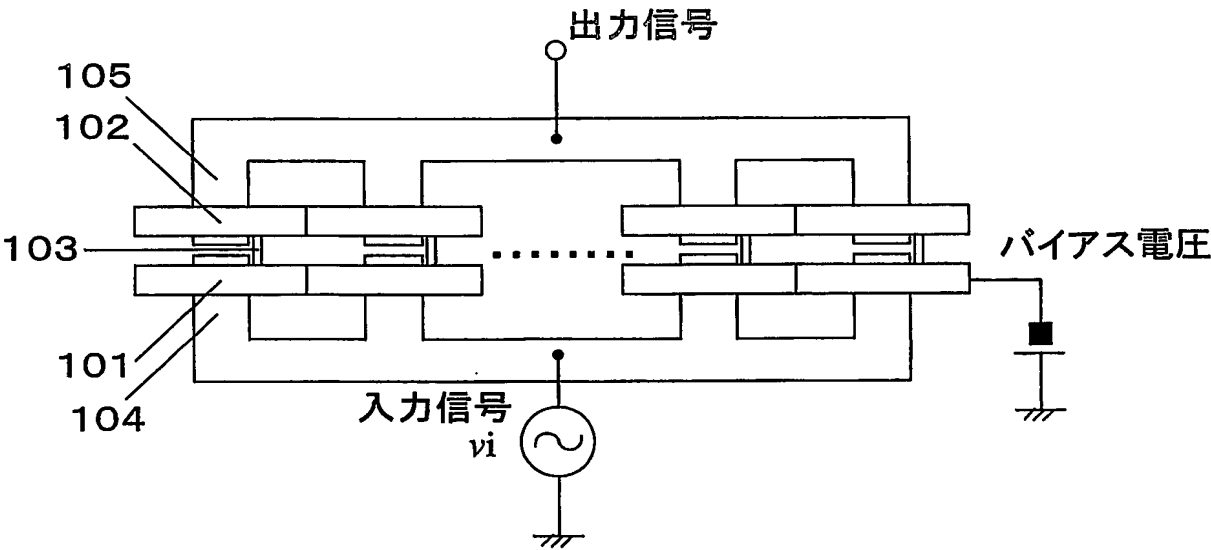
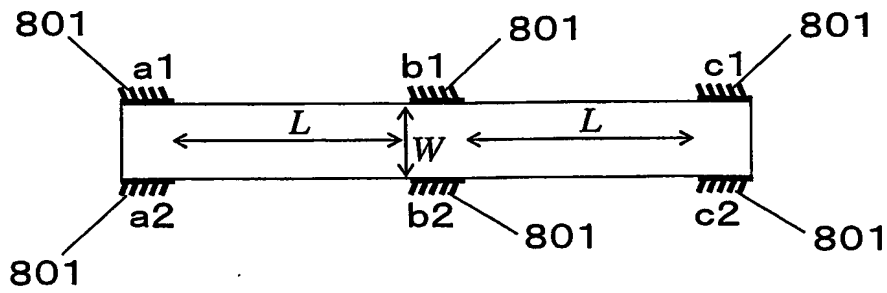


FIG.8



6/16

FIG.9

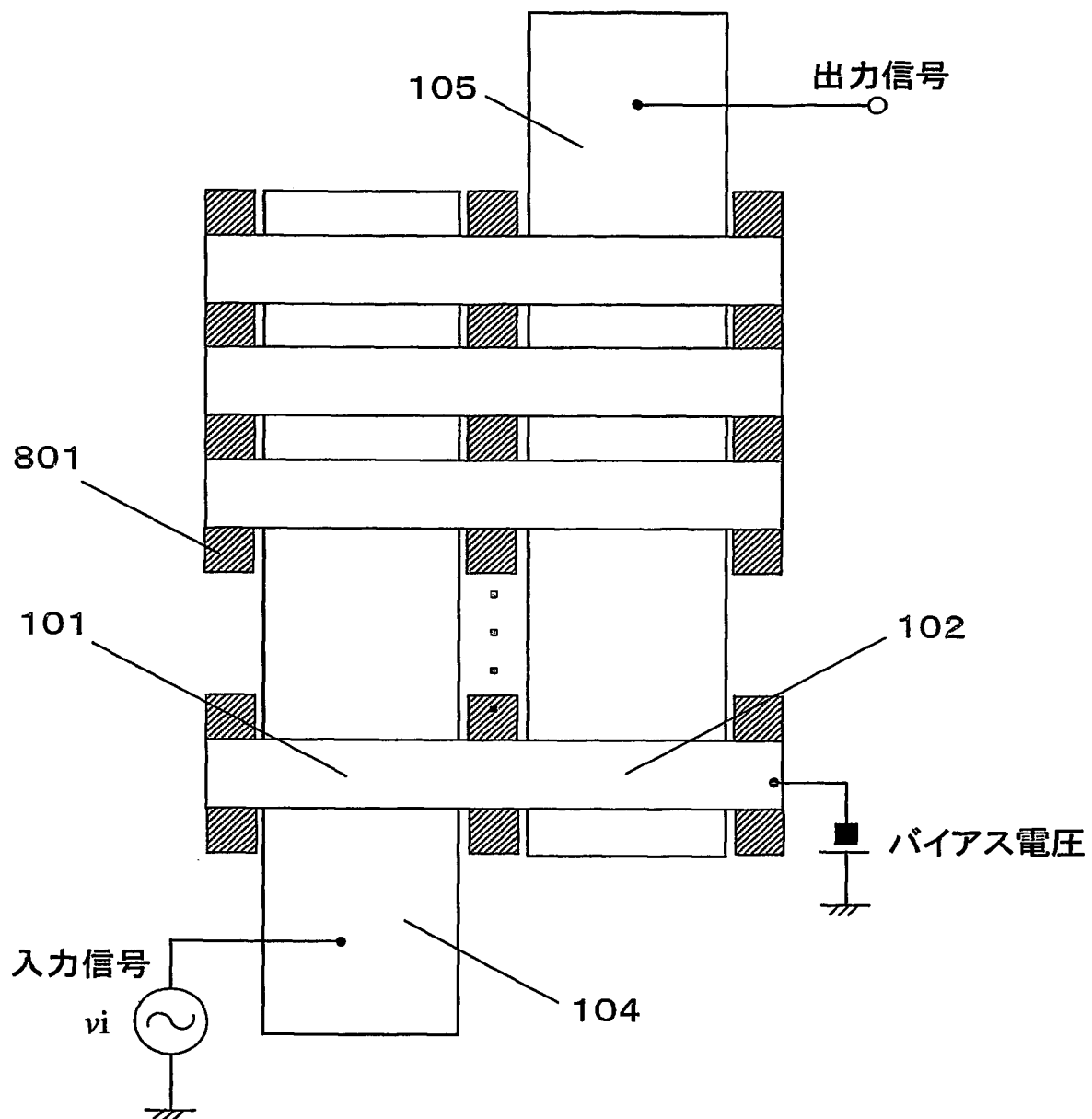


FIG.10

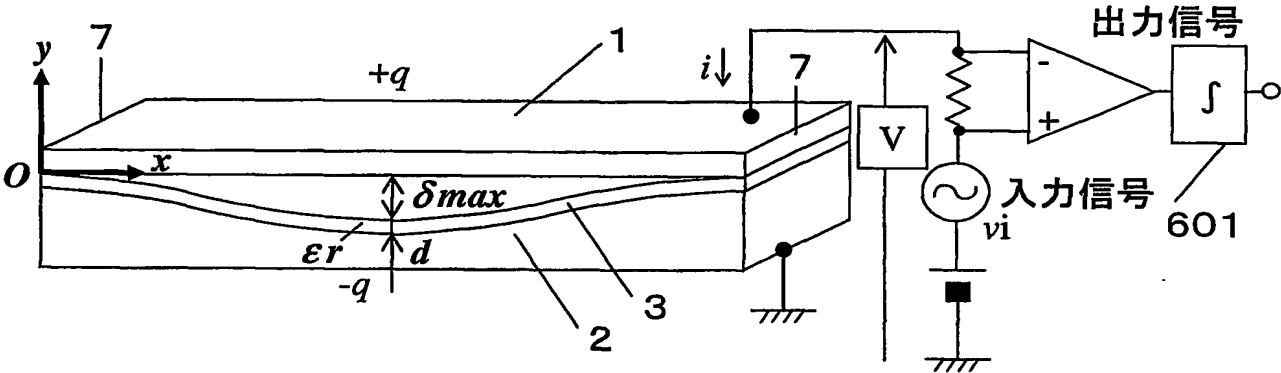


FIG.11A

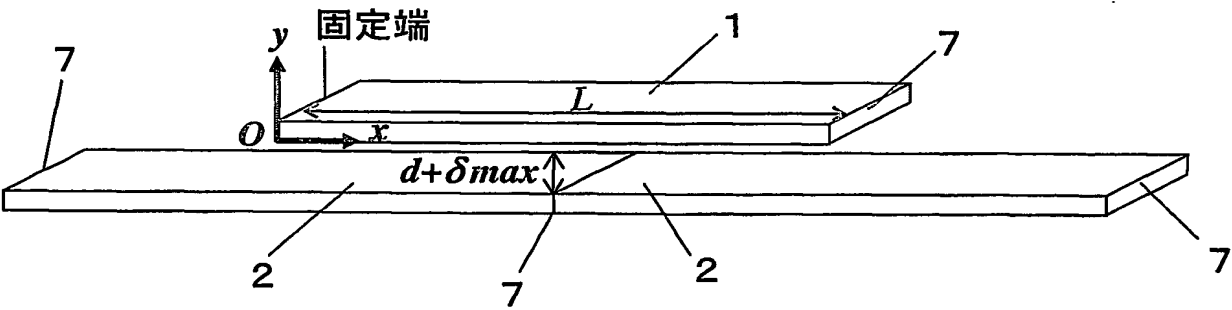


FIG.11B

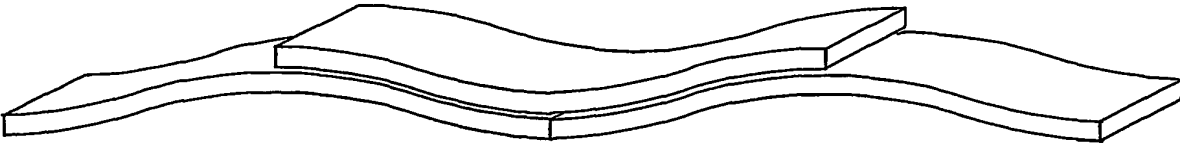




FIG.12

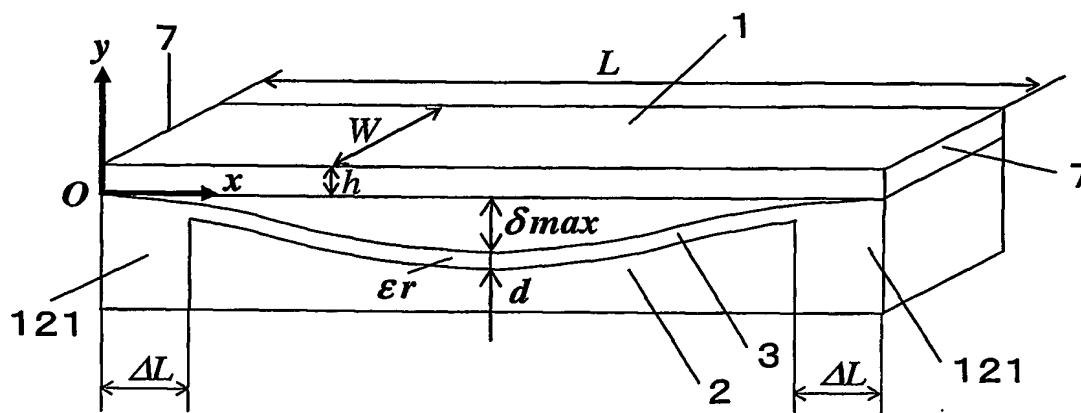


FIG.13

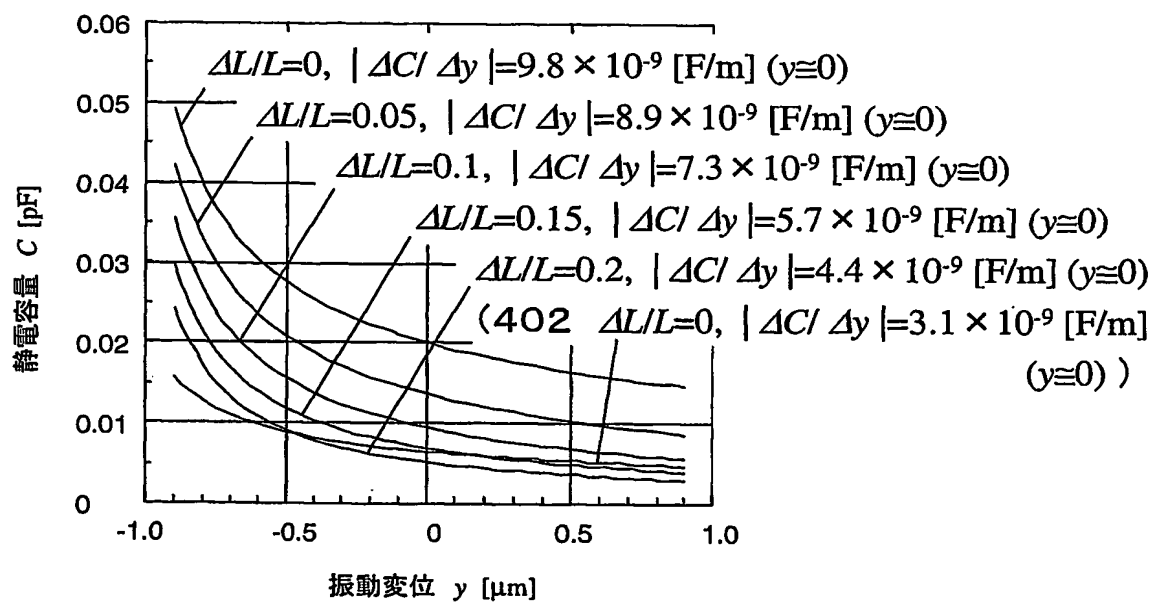


FIG.14

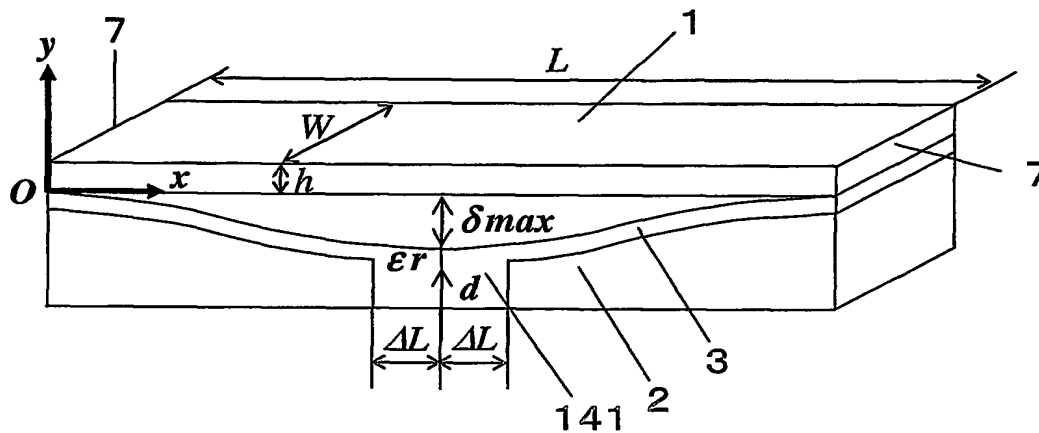
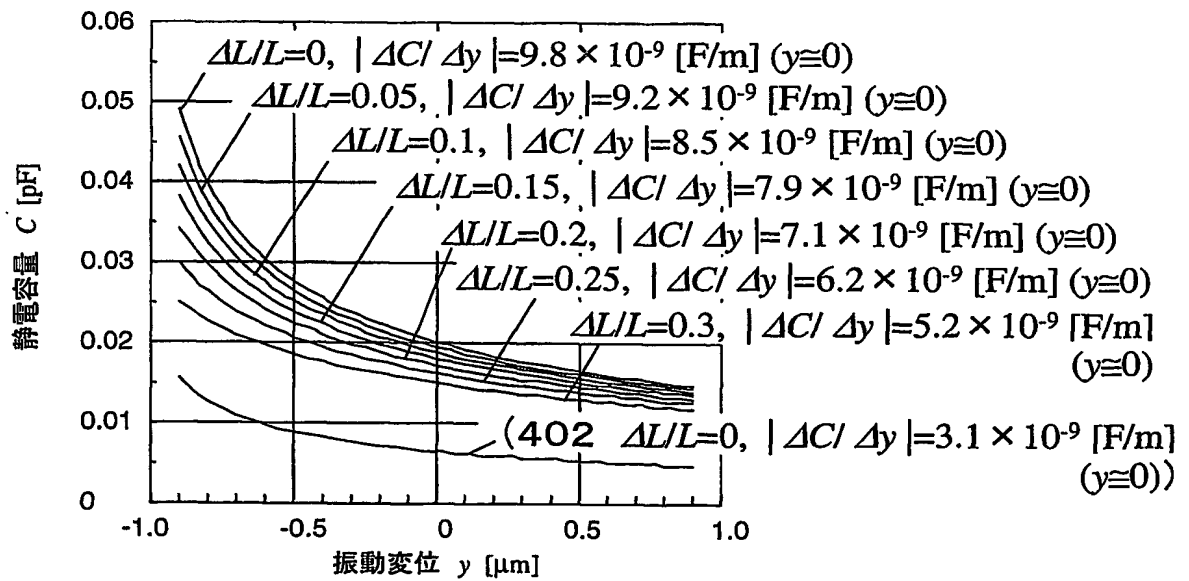


FIG.15



10/16

FIG.16

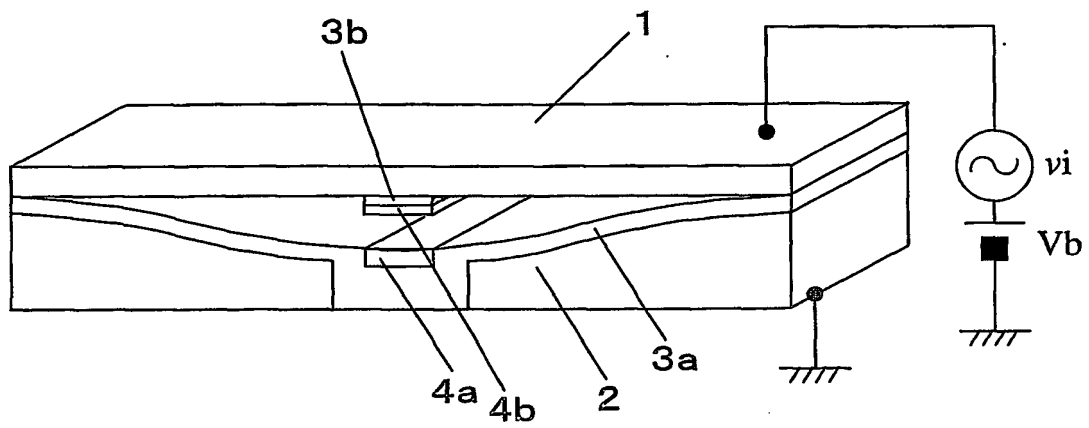
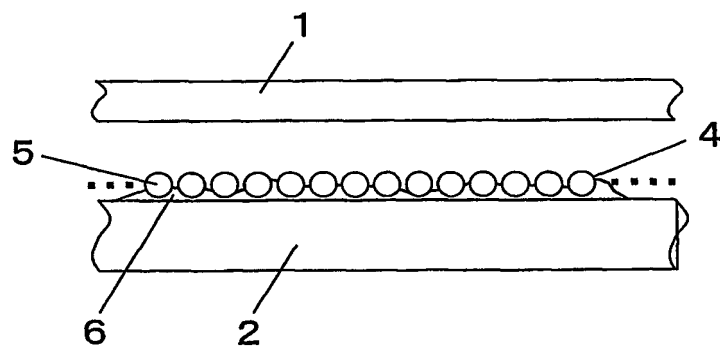


FIG.17



11/16

FIG.18A

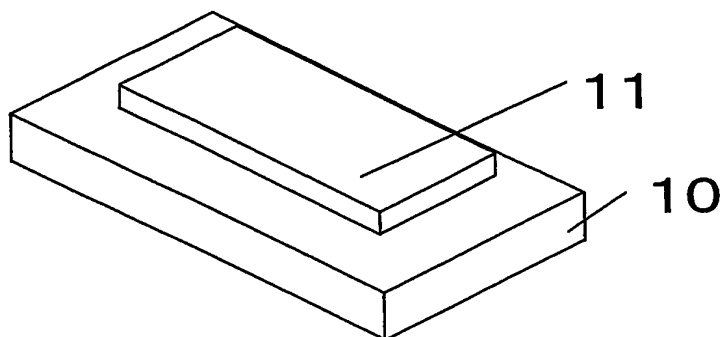


FIG.18B

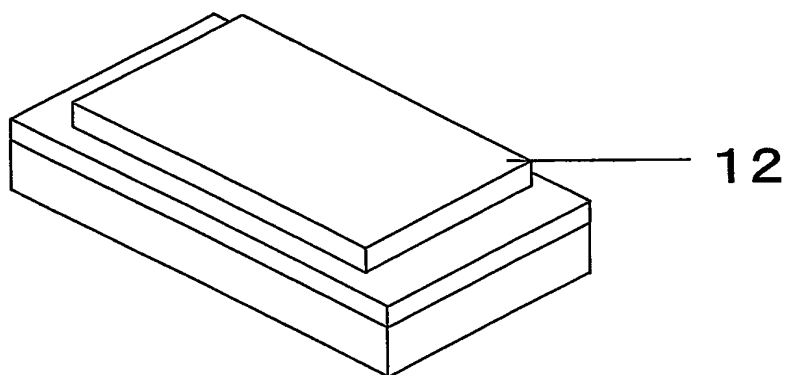


FIG.18C

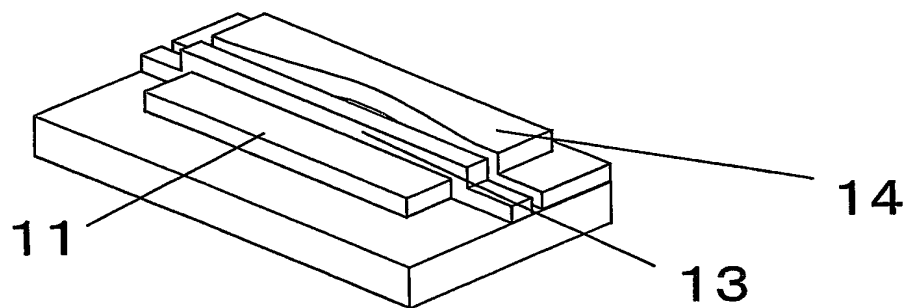
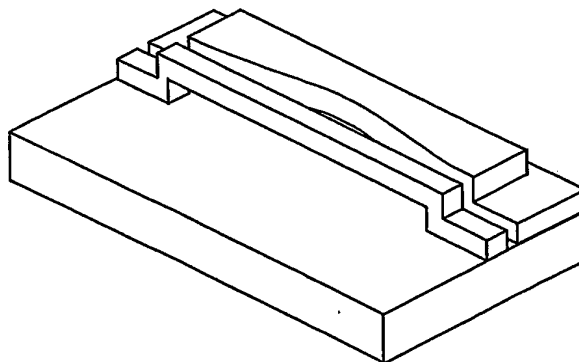


FIG.18D



12/16

FIG.19

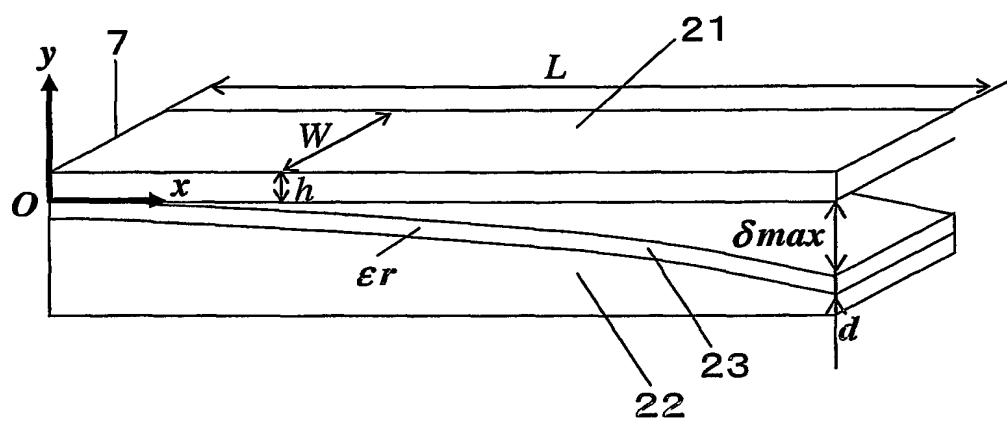


FIG.20A

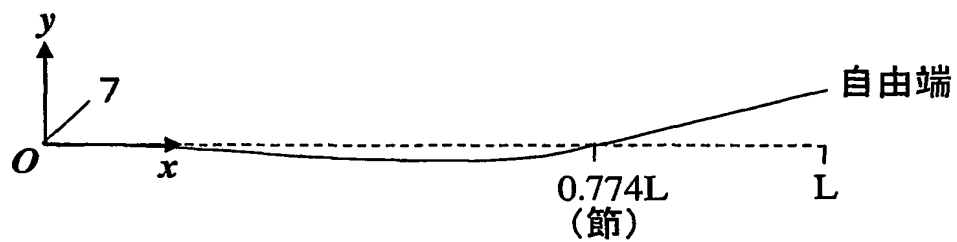


FIG.20B

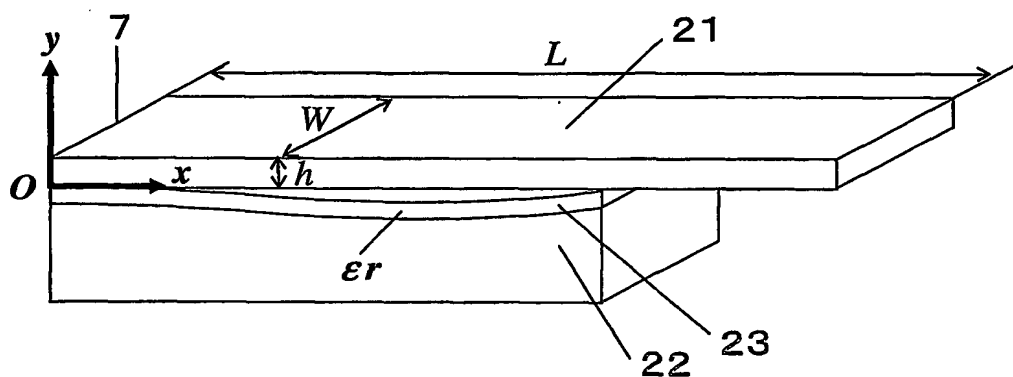


FIG.20C

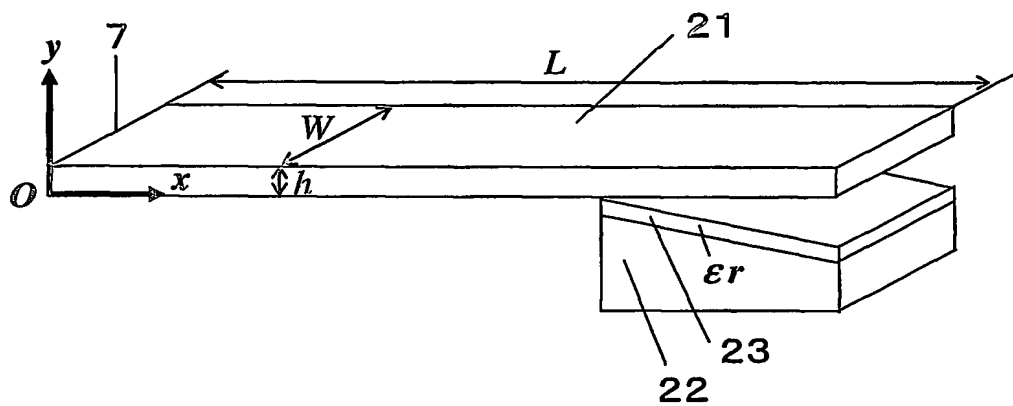
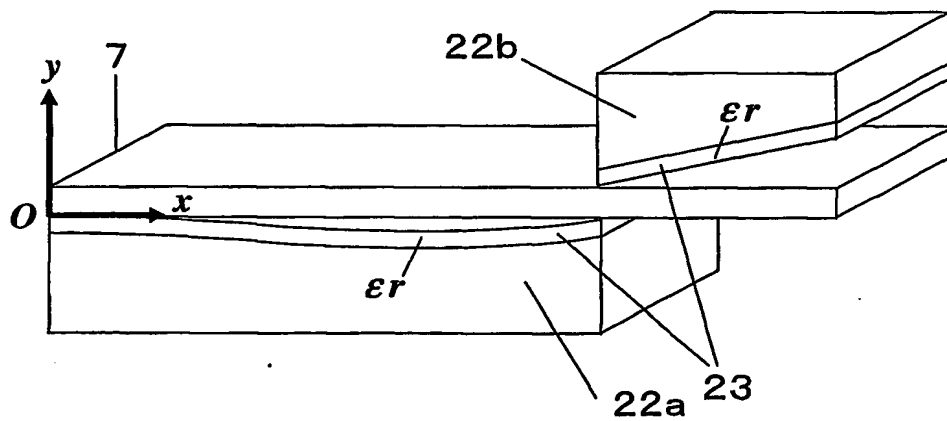


FIG.20D



14/16

FIG.21A

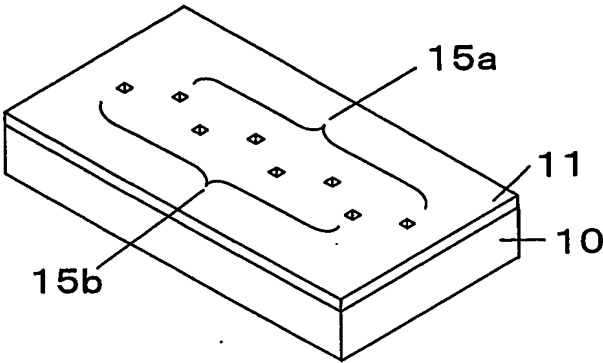


FIG.21B

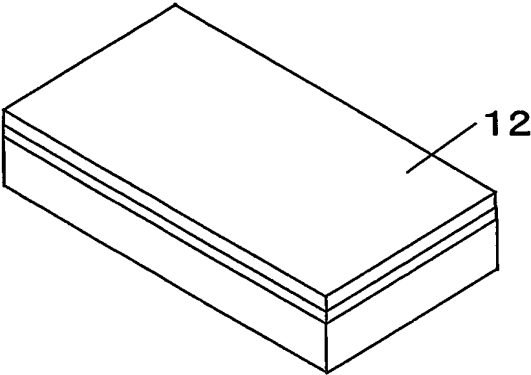


FIG.21C

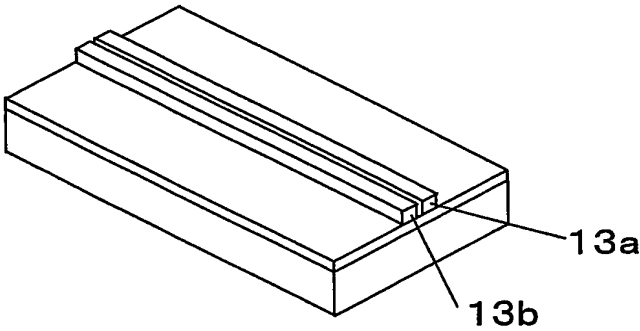
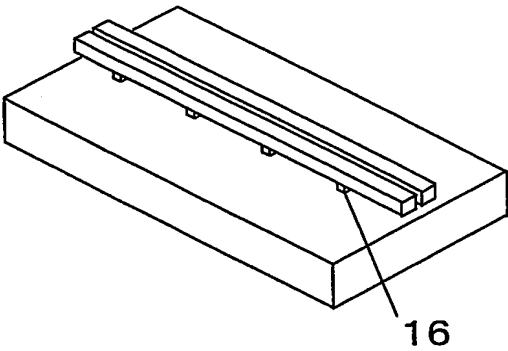


FIG.21D



15/16

FIG.22

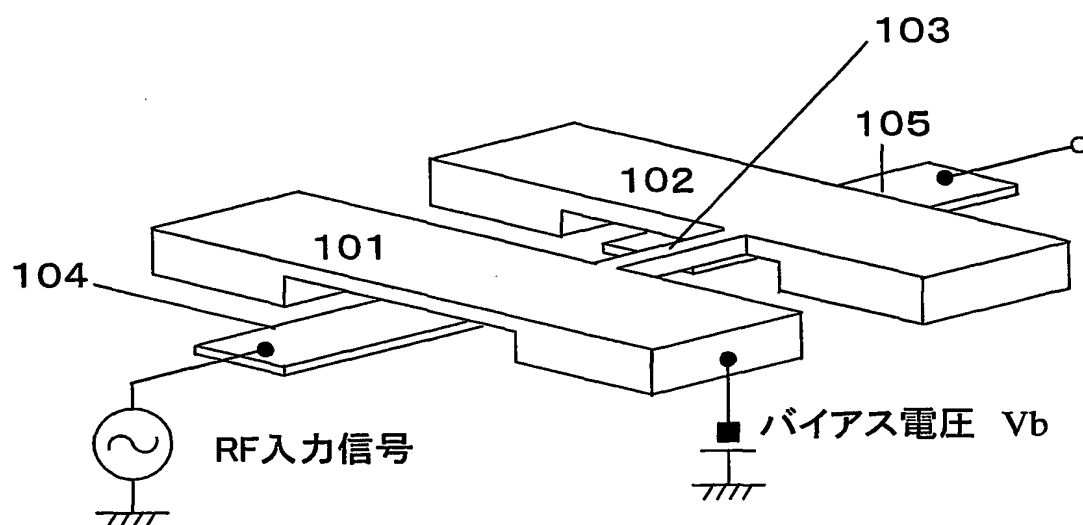
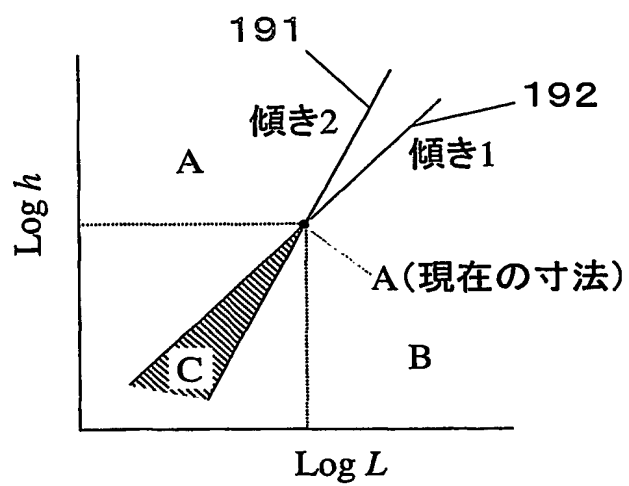


FIG.23





## 図面の参照符号の一覧表

- 1 両持ち梁型振動体
- 2 電極
- 3、3 a、3 b 絶縁層
- 4 a、4 b 接点
- 5 フッ素樹脂粒子
- 6 無電解メッキ膜
- 7 固定端
- 10 基板
- 11 犠牲層
- 12 アルミニウム
- 13、13 a、13 b 振動体
- 14 電極
- 21 片持ち梁型振動体
- 22、22 a、22 b 電極
- 23 絶縁層
- 15 微細穴
- 16 アンカー
- 101、102 両持ち梁型振動体
- 103 結合梁
- 104 入力線路
- 105 出力線路
- 121 電極の両端から $\Delta L$ の長さ部分
- 141 電極の中心から $\Delta L$ の絶縁体の部分

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004091

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H03H9/24, H01H59/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H03B5/30-42, H03H3/007-9/74

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JOIS, WPI/L

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2002-535865 A (The Regents of the University of Michigan), 22 October, 2002 (22.10.02), Full text; all drawings & WO 00/42705 A1 & EP 1142110 A1 & US 2001/0031025 A1 & US 2001/0033119 A1 & US 2001/0033121 A1 & US 2004/0095210 A1	1, 3, 5, 7-10, 13-17 2, 4, 6, 11, 12
Y A	JP 10-312734 A (NEC Corp.), 24 November, 1998 (24.11.98), Full text; Fig. 1 (Family: none)	1, 3, 5, 7-10, 13-17 2, 4, 6, 11, 12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 June, 2004 (04.06.04)

Date of mailing of the international search report

22 June, 2004 (22.06.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004091

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2001-502247 A (Fraunhofer-Gesellschaft zur Forderung der angewandten Forschung Eingetragener Verein), 20 February, 2001 (20.02.01), Full text; Figs. 1, 9, 10 & WO 97/29538 A1 & EP 880817 A1 & US 6168395 B1 & DE 19637928 A1	1, 3, 5, 7-10, 13-17 2, 4, 6, 11, 12
Y	JP 2000-311572 A (Omron Corp.), 07 November, 2000 (07.11.00), Page 3, right column, lines 27 to 29 (Family: none)	15
Y	JP 2000-348593 A (Omron Corp.), 15 December, 2000 (15.12.00), Full text; all drawings (Family: none)	17
X	Wan-Thai Hsu, et al., "STIFNESS-COMPENSATED TEMPERATURE-INSENSITIVE MICROMECHANICAL RESONATORS", Micro Electro Mechanical Systems, 2002, The Fifteenth IEEE International Conference on, 20-24, Jan. 2002, pages 731 to 734; columns 4 to 5	1

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> H03H9/24 H01H59/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> H03B5/30-42 H03H3/007-9/74

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
JOIS, WPI/L

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2002-535865 A (ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ ミシガン) 2002. 10. 22 全文, 全図	1, 3, 5, 7-10, 13-17
A	& WO 00/42705 A1 & EP 1142110 A1 & US 2001/0031025 A1 & US 2001/0033119 A1 & US 2001/0033121 A1 & US 2004/0095210 A1	2, 4, 6, 11, 12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日  
04. 06. 2004

国際調査報告の発送日  
22. 6. 2004

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号 100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
小林 正明  
5W 3248  
電話番号 03-3581-1101 内線 3535

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 10-312734 A (日本電気株式会社) 1998. 11. 24 全文, 第1図 (ファミリーなし)	1, 3, 5, 7-10, 13-17
A		2, 4, 6, 11, 12
Y	JP 2001-502247 A (フラウンホーファーゲゼルシャフト、ツール、 フェルデルング、デア、アンゲヴァンテン、フォルシュング、 アインゲトラゲネル、フェライン)	1, 3, 5, 7-10, 13-17
A	2001. 02. 20 全文, 第1, 9, 10図 & WO 97/29538 A1 & EP 880817 A1 & US 6168395 B1 & DE 19637928 A1	2, 4, 6, 11, 12
Y	JP 2000-311572 A (オムロン株式会社) 2000. 11. 07 第3頁右欄第27-29行 (ファミリーなし)	15
Y	JP 2000-348593 A (オムロン株式会社) 2000. 12. 15 全文, 全図 (ファミリーなし)	17
X	Wan-Thai Hsu, et al. 'STIFNESS-COMPENSATED TEMPERATURE-INS ENSITIVE MICROMECHANICAL RESONATORS' Micro Electro Mechanica l Systems, 2002. The Fifteenth IEEE International Conference on, 20-24, Jan. 2002 Page:731-734, column 4 - 5.	1